

# Automatisierte, endkonturnahe RTM-Fertigung – Analyse des Komprimierungsverhaltens als wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Prozessstabilität

Björn Reinhard M.Sc.

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, DLR e.V.  
Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP), Stade

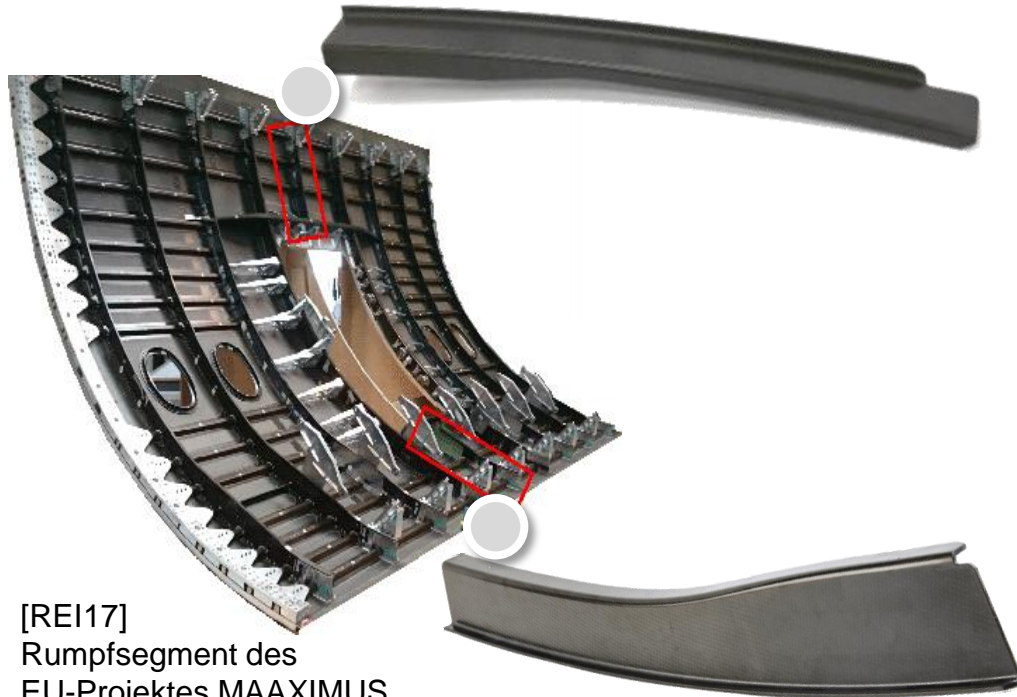
Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2018  
Friedrichshafen, 04.-06.09.2018



Wissen für Morgen

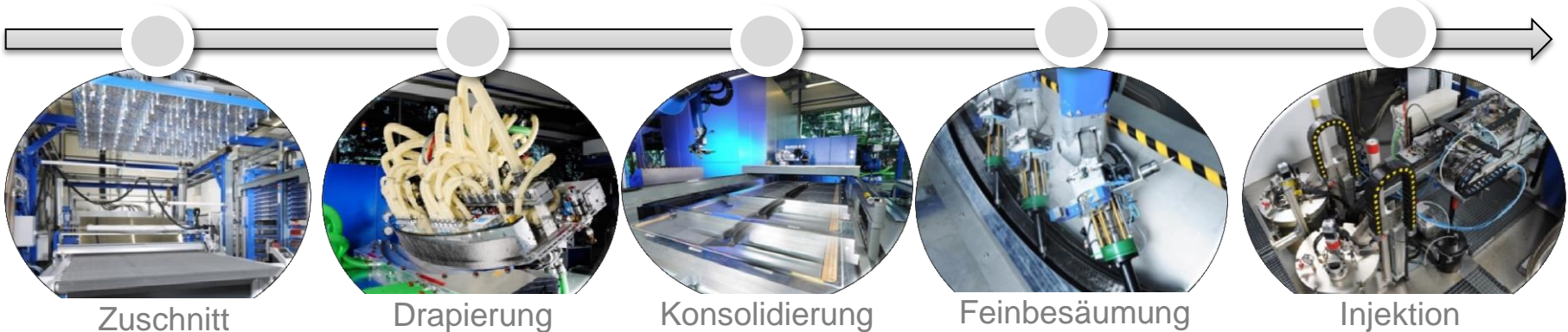


# Erfahrung aus vergangenem EU-Projekt MAAXIMUS

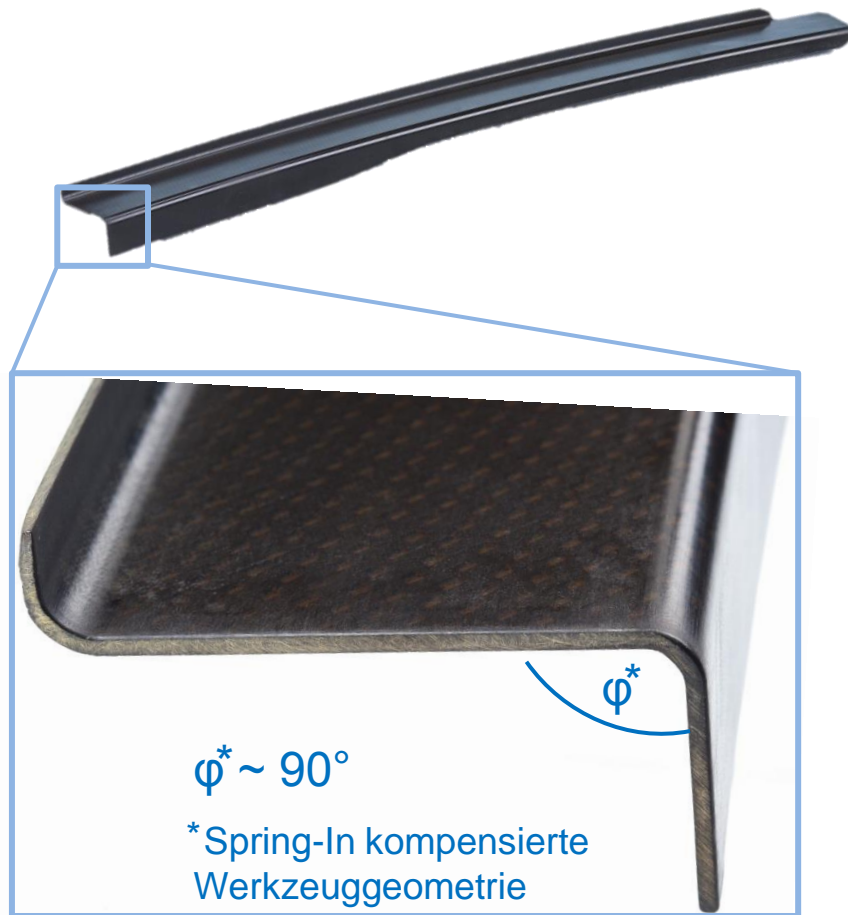


[REI17]  
Rumpfsegment des  
EU-Projektes MAAXIMUS

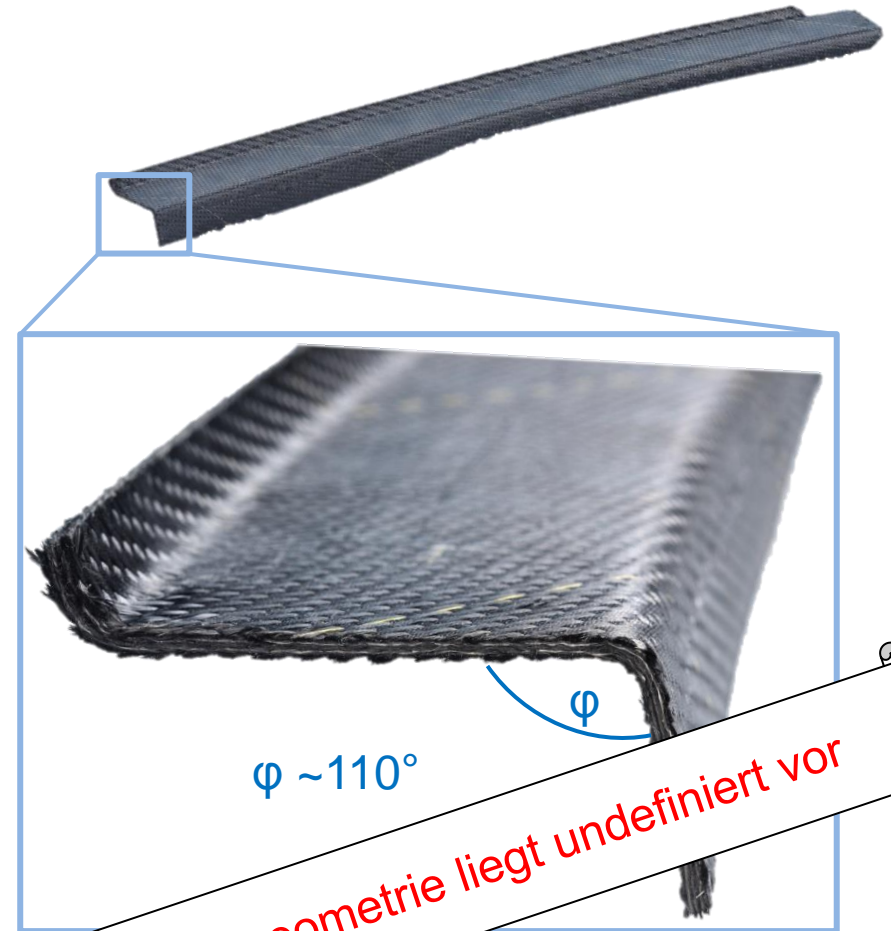
- Automatisiertes, endkonturnahes Preforming...
- ...und isotherme Injektion mithilfe Spring-In kompensierter Werkzeuge...
- ...von zwei Türumgebungs-Spannen, die...
- ...einen Z-Querschnitt, eine Länge von ca. 1m und einen komplexer Lagenaufbau mit Patchbereichen vorweisen



# Geometrie des ausgehärteten Bauteil und des Preforms



[KAP2016]

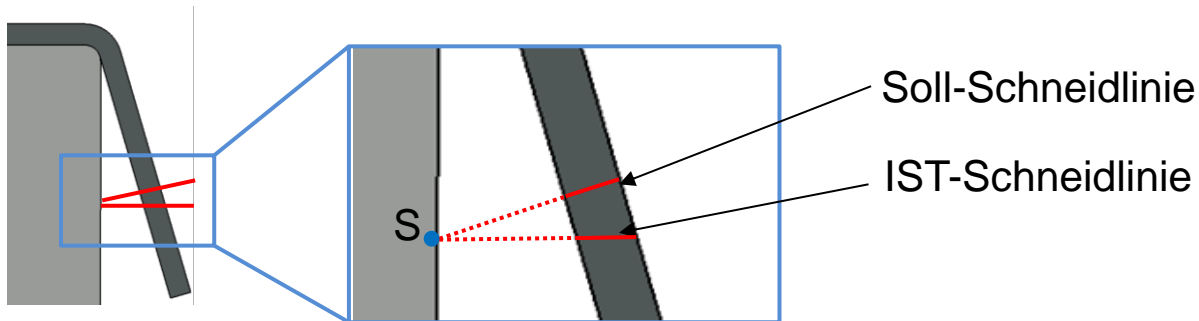


Preformgeometrie liegt undefiniert vor

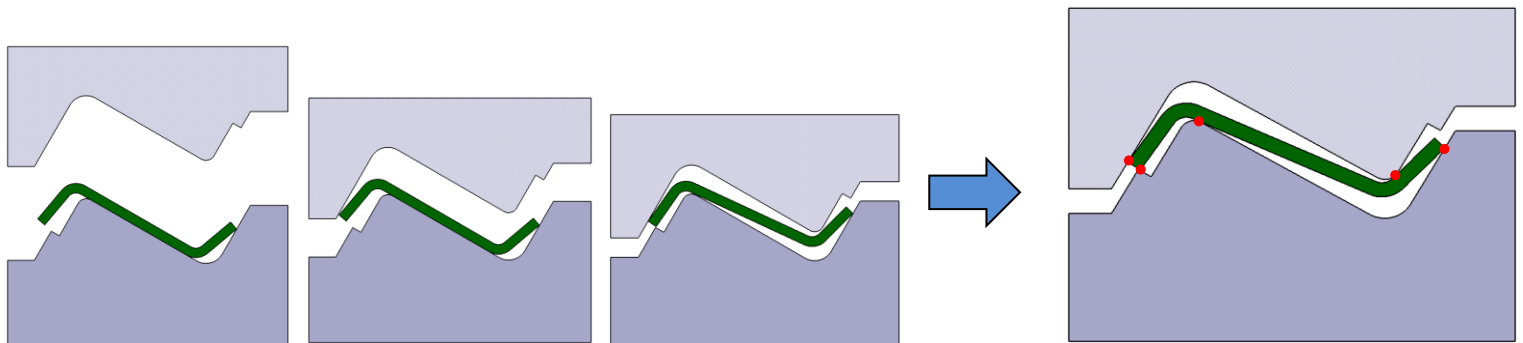


# Prozessunsicherheit durch undefinierte Preformgeometrie

- Herausforderungen durch den undefinierten Preformzustand:
  - Feinbesäumung: Falsche Position & fehlerhafte Trennung der Fasern

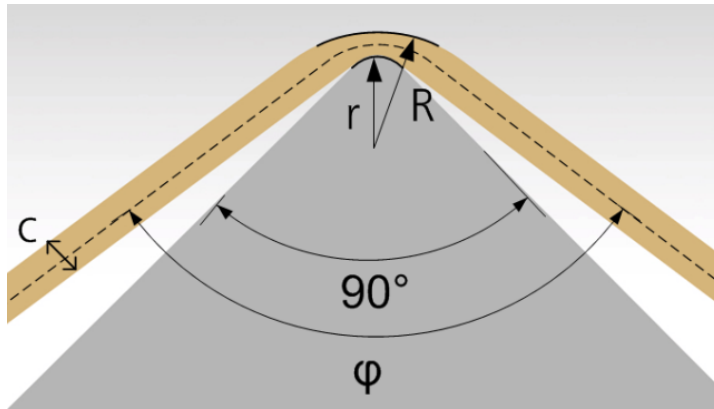


- Injektion des Preforms
  - Beschädigung des Werkzeugs und des Preforms durch Schließvorgang



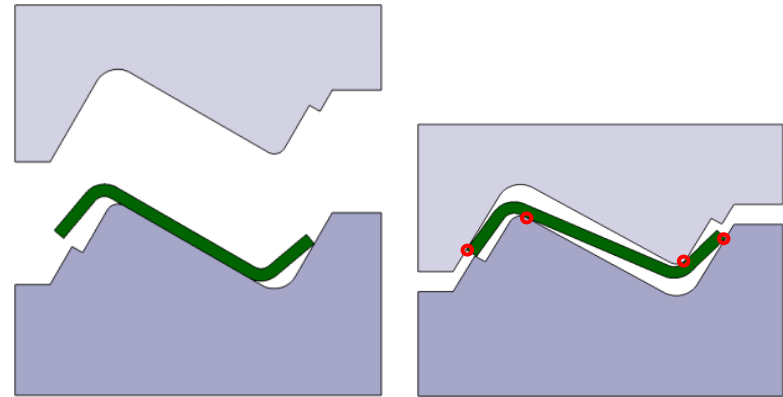
# Zwischenfazit des IST-Zustandes und Zielableitung

## Preformgeometrie nach Konsolidierung



$$\varphi_{\text{Ist}} > \varphi_{\text{soll}}$$

## Schließvorgang des Injektionswerkzeuges



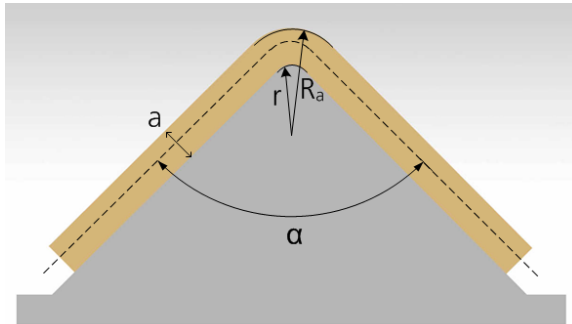
- Undefinierte Preformposition im Werkzeug
- Preform- und Werkzeugschädigung wahrscheinlich

### Ziel:

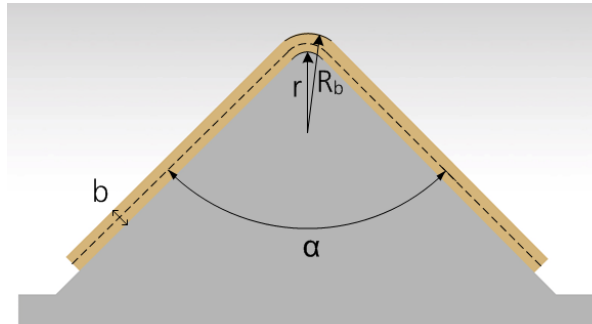
- Preformgeometrie muss vorhergesagt werden können
- Einstellen der Prozessparameter, dass der Preform einem „Faservolumengehalt“ von ~58% entspricht und nicht relaxiert!



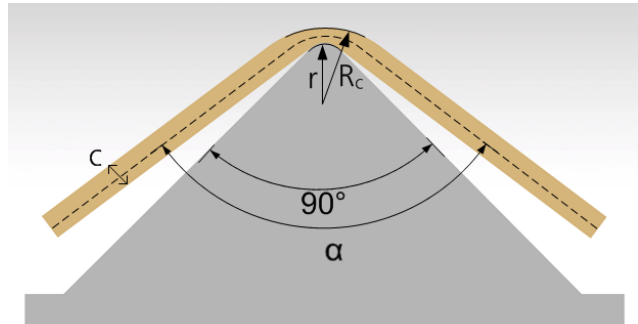
# Theoretische Betrachtung der Preformrelaxation



Unkompaktierter Preform



Kompaktierter Preform



Relaxierter Preform

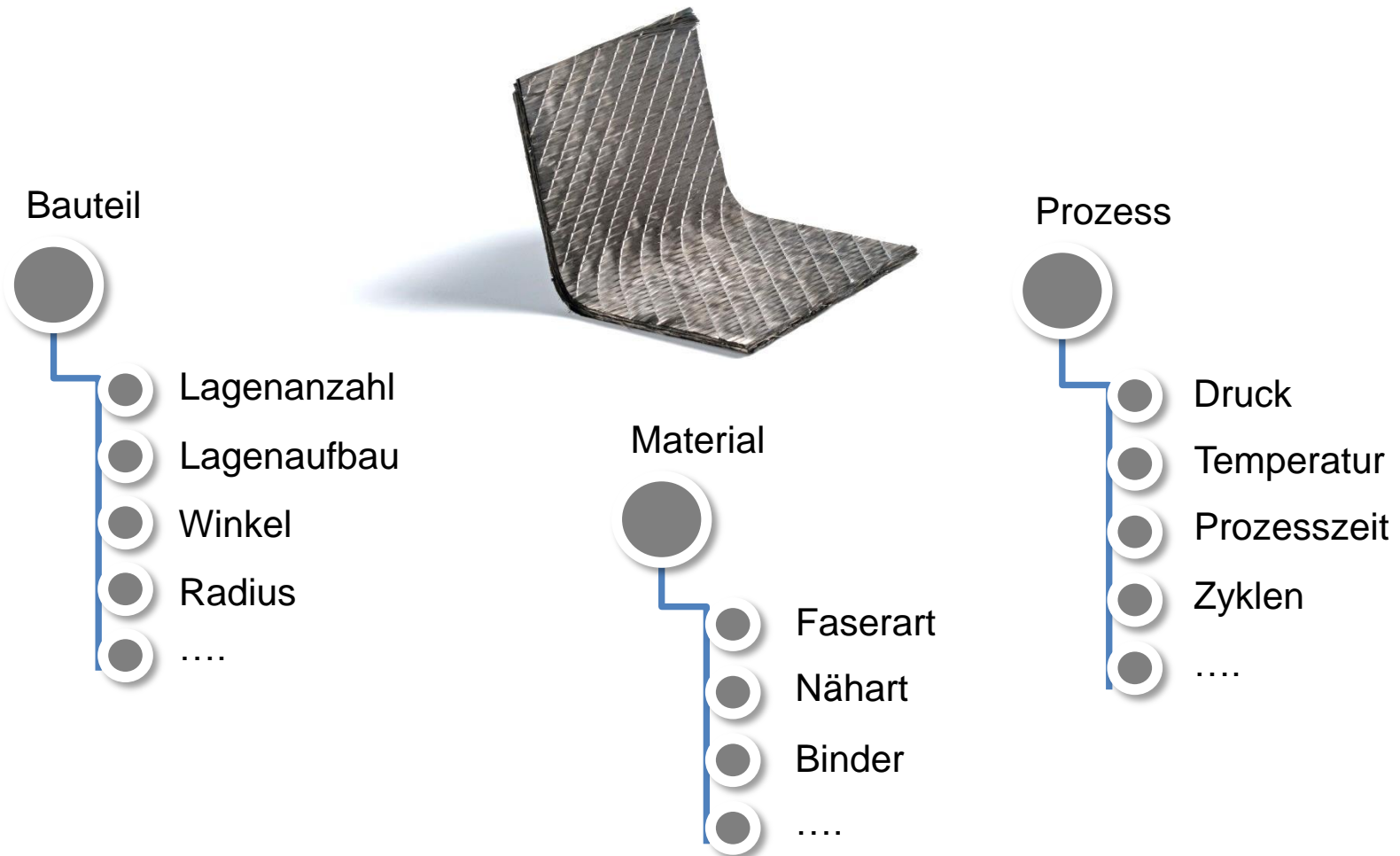
## Wirkprinzipien:

- Beim Entspannungsprozess erhöht sich die Dicke
- Das Abgleiten der Lagen aufeinander in den Zwischenebenen wird durch den Binder verhindert
- Eine Längenänderung der Fasern erfolgt nicht

➤ Der Preformwinkel vergrößert sich durch die Erhöhung der Preformdicke

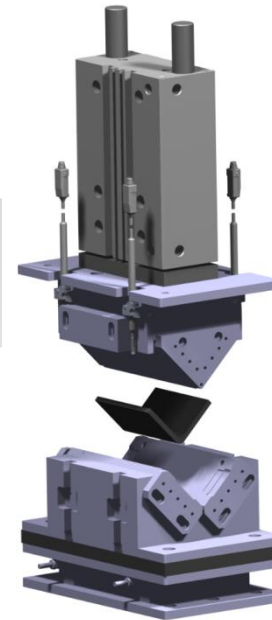
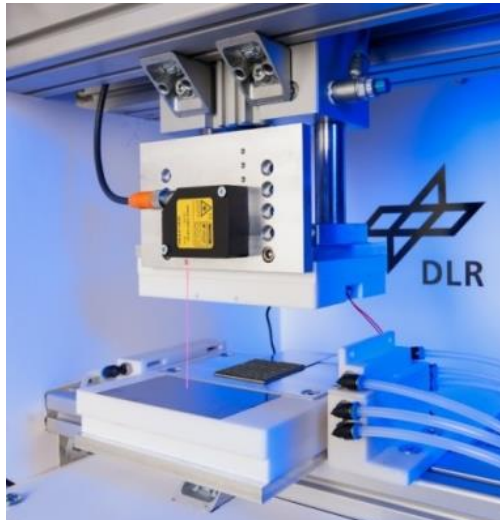
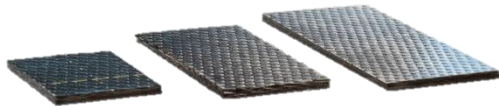


# Einflussparameter für die Preformrelaxation



# Vorgehen: Von der Ebene zum L-Winkel

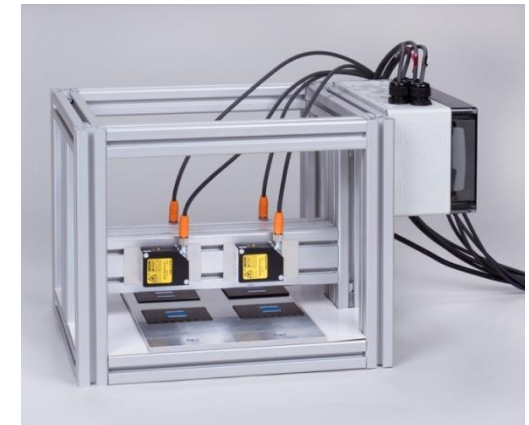
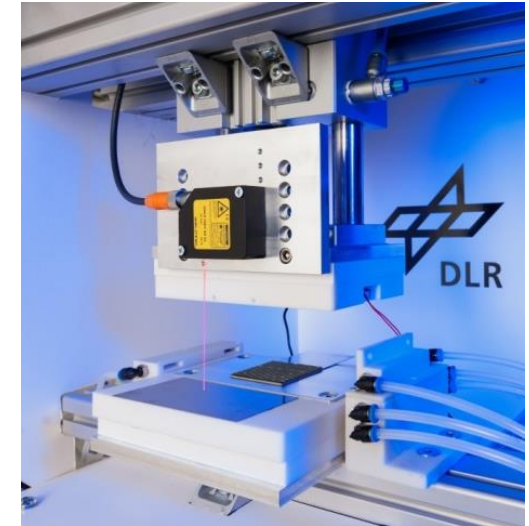
- Versuchsvorrichtung für ebene Prüfkörper:
  - Definieren von Prozessparameterpaarungen
  - Ableiten einer Ersatzfunktion und eines reduzierten Versuchsumfanges
- Versuchsvorrichtung für L-Winkel-Prüfkörper:
  - Validierung der Ersatzfunktion an L-Winkel Prüfkörpern



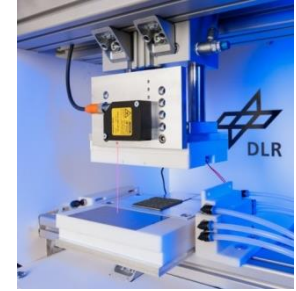


# Praktische Untersuchungen – Vorliegende Testvorrichtungen

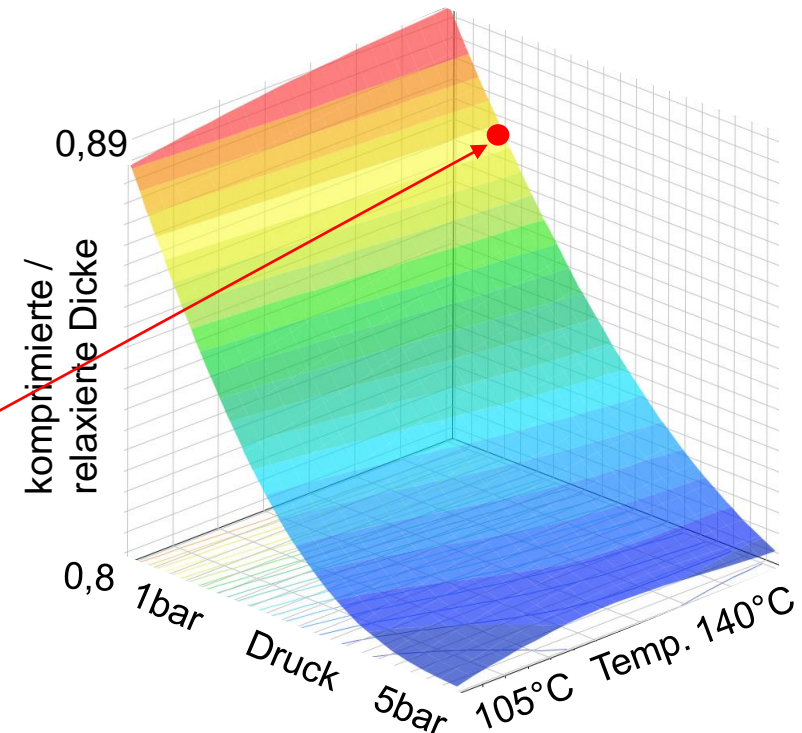
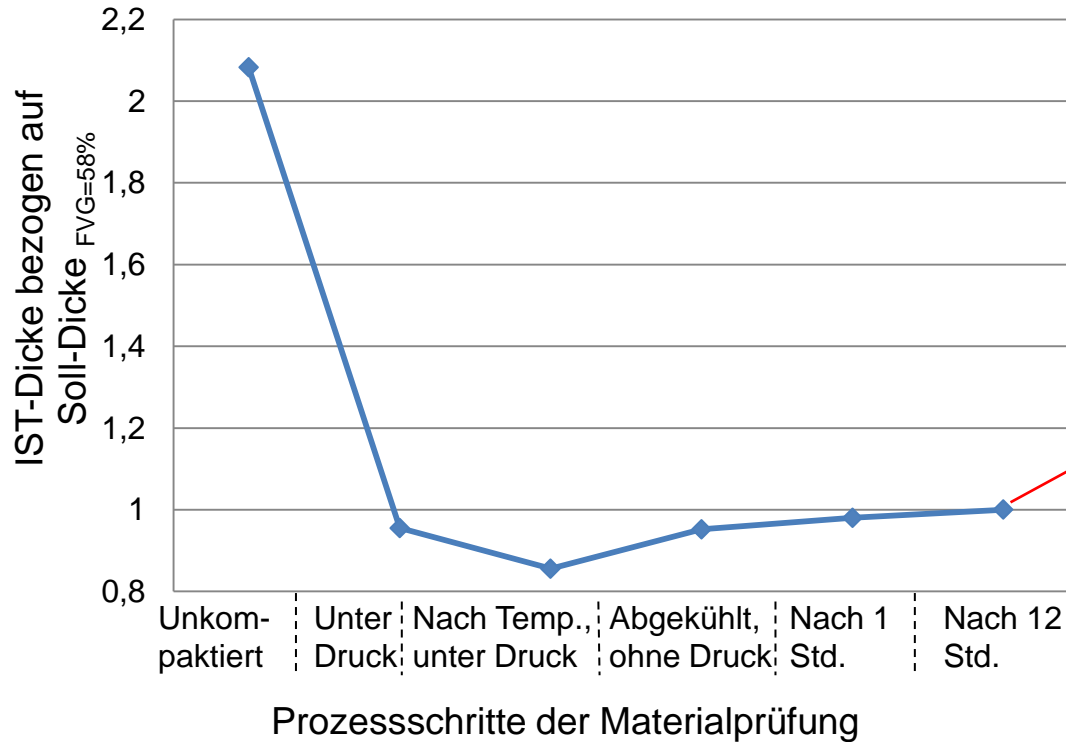
- Komprimierung und Aufnahme der Dickenänderung des Preforms mithilfe eines Komprimierungsprüfstandes
  - Druck: 0,5 – 5 bar
  - Temperatur: bis 180°C
  - Abstandsmessung: Laser (kontinuierlich)
  - Kraftmessung: Integrierte Kraftmessdose
- Nachgeschaltete Langzeitbetrachtung des Relaxationsvorganges mithilfe einer Langzeitversuchsvorrichtung
  - Größe der Prüffläche: 240mm x 300mm
  - Anzahl der Prüfplätze: 4
  - Abstandsmessung: Laser (kontinuierlich)



# Praktische Untersuchungen an ebener Versuchsvorrichtung



- Nach der Prozessparameteranalyse folgt:



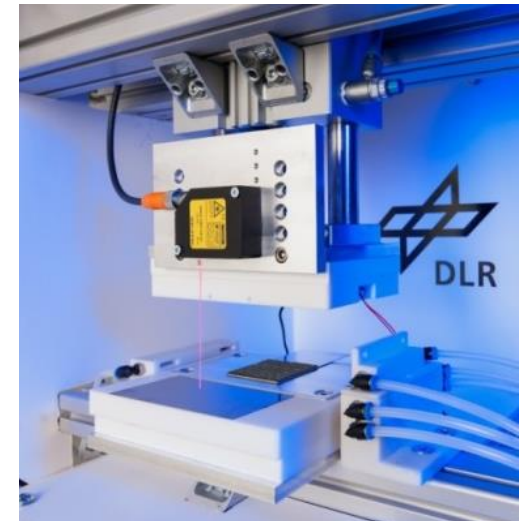
## Fazit:

- 58% Faservolumengehalt und keine Relaxation können nicht erreicht werden!



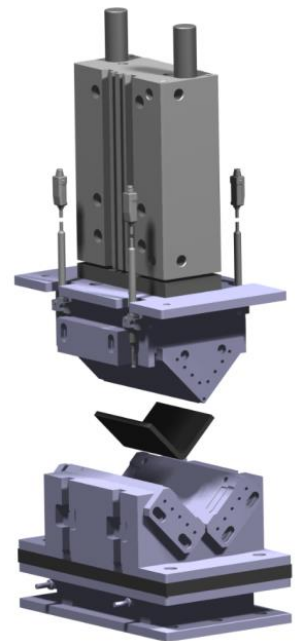
# Bisherige Erfahrungen aus den praktischen Versuchen

- Bisherige Versuchsdatenbank umfasst 11 unterschiedliche Materialien (Gewebe oder Biaxial- und Triaxialgelege, reversibler oder aushärtender Binder, ...)
- Über 700 Tests wurden bei verschiedenen Prozessparametern durchgeführt
- Vorrangige Untersuchung folgender Prozessparameter:
  - Druck, Temperatur, Druck- und Temperaturhaltezeit, Lagenanzahl
- Jedes Material weist eine eigene Materialcharakteristik auf



# Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

- Zusammenfassung
  - Bei der Verarbeitung von trockenen, bebinderten Fasermaterialien liegt infolge der Relaxation ein hohes Prozessrisiko vor (vor allem bei automatisierten Prozessen)
  - Eine Vorhersage des Preformzustandes ist zwingend erforderlich
  - Keines der getesteten Materialien weist einen Faservolumengehalt von 58% und einen Relaxationsgrad von 0 auf
- Ausblick:
  - Aufstellen der Übertragungsfunktion
  - Realisierung eines L-Winkel Prüfstand zur Validierung der Übertragungsfunktion





# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Björn Reinhard M.Sc.

DLR e.V. - Institut für Faserverbund-  
leichtbau und Adaptronik

T: 0531-295-3750

E: [Bjoern.Reinhard@dlr.de](mailto:Bjoern.Reinhard@dlr.de)



# Literatur

- [REI2017]  
Björn Reinhard, Automated net-shape preforming of MAAXIMUS C73 frames, 01.-02.06.2017, Pitea, Schweden, SICOMP Conference
- [KAP2016]  
Erik Kappel, Björn Reinhard, Tim Roser: High-rate, spring-in compensated, net-shape manufacturing of RTM made composite frames within the EU project MAAXIMUS. 26-30th June 2016, Munich, Germany, ECCM17 - 17th European Conference on Composite Materials.

